

EDILBERTO ANTONIO LLANES CEDENO <antonio.llanes@uisek.edu.ec>

[Ingeniare] Decisión del Editor - Ingeniare - 280

Sistema Scielo Chile de Publicación <suporte.aplicacao@scielo.org>

Responder a: Carolina Cautín Barria <ccautin@uta.cl>

Para: Autor Juan Carlos Rocha-Hoyos <carlos.rocha@uisek.edu.ec>

Cc: lamena@espe.edu.ec, jsmena@espe.edu.ec, wmtroman@espe.edu.ec, nparreno@espe.edu.ec, antonio.llanes@uisek.edu.ec

17 de noviembre de 2017, 13:39

Hemos tomado una decisión sobre su presentación a Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, "Estudio de rugosidad por análisis de Fourier de las toberas de inyectores en sistemas riel común (CRDI)".

Nuestra decisión es: Artículo aceptado para Publicación.

Informamos que con fecha 6 de noviembre de 2017, ha sido aprobado para publicación en el Volumen 26 N° 4, octubre - diciembre 2018, de Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, ISSN: 0718-3305 versión en línea.

Estaremos en contacto para enviar el último pdf recibido de imprenta, para nuestro V°B° final. Fecha estimada: septiembre 2018.

En caso de implementar ahead of print, nos comunicaremos antes de la fecha indicada, para una aparición anticipada en la Web.

Revisor/a C:

8.- Evaluación General

8.3 Dé su opinión global, sobre el contenido del trabajo considerando los siguientes aspectos: Contribución a la disciplina, valor como referencia, originalidad, claridad del contenido, etc.:

1. El artículo es útil para la parte académica y para el sector industrial (fabricación y mantenimiento). Constituye una referencia para estudios y análisis similares de otras partes y componentes no solo de automóviles.
2. Luego de las correcciones realizadas por los autores a solicitud de los evaluadores el artículo ganó en claridad de las ideas que se exponen en el mismo quedando en mejores condiciones para ser referenciado posteriormente por otros autores.



Antonio Llanes Cedeno
Recibido 17/11/2017

Saluda atentamente a usted,

Dr. Kristopher Chandia Valenzuela
Editor

Ingeniare. Revista chilena de ingeniería
<http://cl.submission.scielo.org/index.php/ingeniare>

 **INGENIARE-280Luis Mena Navarrete.docx**
1897K



FICHA CATALOGRÁFICA

Apellidos Nombres	LLANES CEDEÑO EDILBERTO ANTONIO
Nombre del Artículo Científico_1	Estudio de rugosidad por análisis de Fourier de las toberas de inyectores en sistemas riel común (CRDI)
Nombre de la Revista	Ingeniare, Revista chilena de ingeniería INNOVA Research Journal
ISSN de la revista	ISSN: 0718-3305
DOI del Artículo	N/A
Volumen	Vol. 26
Número	No. 4
Páginas del Artículo	11 pág.
Fecha de publicación (mm-dd-aaaa)	septiembre/2018
Estado de la Publicación	Aceptado



11/18/2017

Acerca de la revista



INGENIARE
REVISTA CHILENA DE INGENIERÍA



ISSN 0718-3291 Versión Impresa
ISSN 0718-3305 Versión en línea

Revista Ingeniare

Inicio

Acerca de la revista

Comité Editor

Instrucciones a los autores

Plantilla de Manuscritos

Envío de Artículo

Números Anteriores



Información básica:

Ingeniare. Revista chilena de ingeniería publica cuatro números al año, artículos originales en idioma inglés y español relacionados con ingeniería miscelánea, ya sea eléctrica, electrónica, mecánica, informática, metalúrgica, industrial, ciencias afines incluyendo enseñanza en la ingeniería.

Su título abreviado es Ingeniare. Rev. chil. Ing. que debe ser usado en bibliografías, notas al pie de página, leyendas y referencias bibliográficas.

Ingeniare nació el año 2006 desde su predecesora la Revista de la Facultad de Ingeniería - Universidad de Tarapacá. Hasta el año 2013 publicaba 3 números al año.

Indizada en:

Los artículos publicados en Ingeniare. Revista chilena de ingeniería son indizados o resumidos por:

SCIELO
Scopus
Latindex
Redalyc
ProQuest
Risk Abstract
DIALNET
Directory of Open Access Journals (DOAJ)
Google Scholar
Socolar

Copyright

El contenido de los artículos es de exclusiva responsabilidad de los autores. No representan ni comprometen necesariamente el punto de vista de la revista.

Todo el contenido de esta revista, excepto donde está identificado, está bajo una Licencia Creative Commons. Ingeniare es una revista de acceso abierto, por lo que los usuarios pueden leer, descargar, enlazar, imprimir, copiar, distribuir, buscar los textos completos sin previa autorización del editor o del autor, siempre que se respete la autoría original del artículo acorde a la Licencia Creative Commons"

Patrocinadores

Universidad de Tarapacá

Ingeniare. Revista chilena de ingeniería
14 de Septiembre N° 2222
Teléfono (+56) (58) 2205654
Contacto:

Desarrollado por Cristian Díaz Paredes - cparedes@utatarapaca.cl

http://www.ingeniare.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=140&lang=es

1/1

Link: http://www.ingeniare.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=140&lang=es

Ingeniare

7

H Index

Country
Chile

Subject Area and Category
Engineering
Engineering (miscellaneous)

Publisher
Universidad de Tarapaca

Publication type
Journals

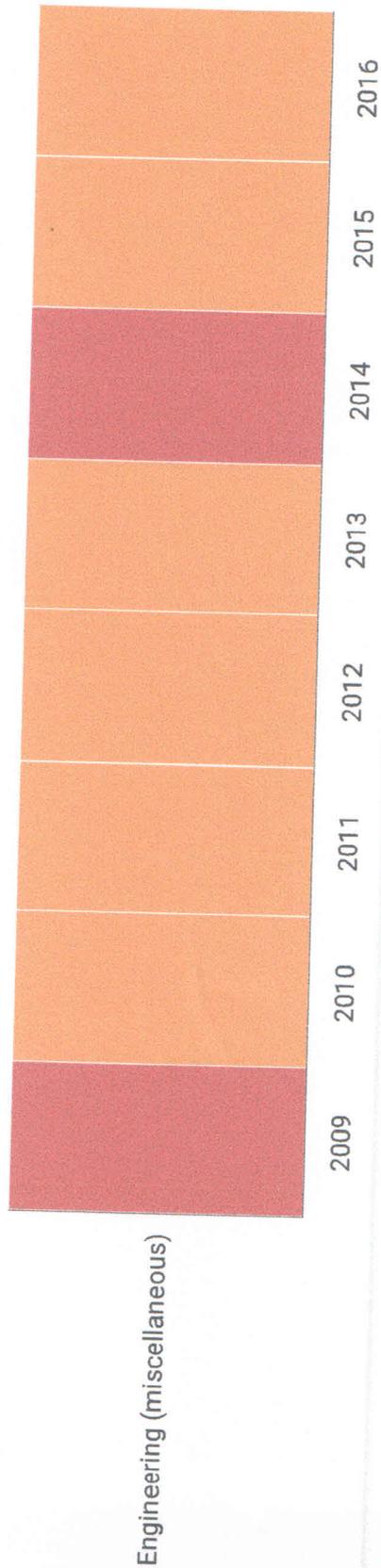
ISSN
07183291, 07183305

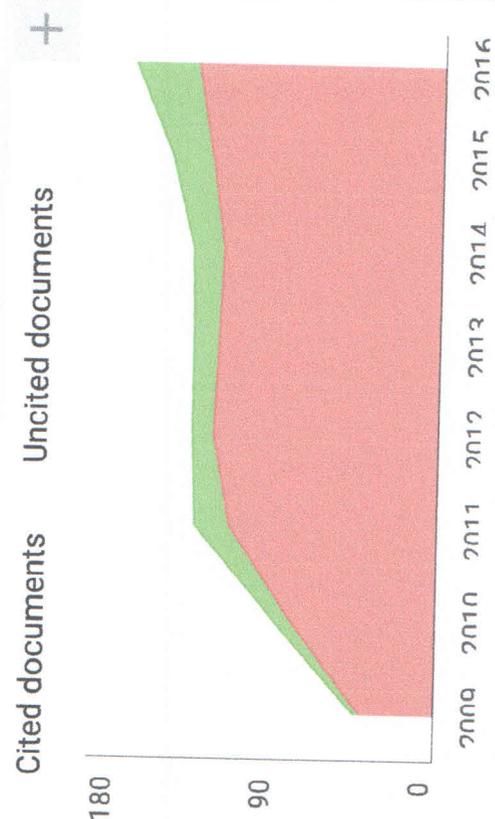
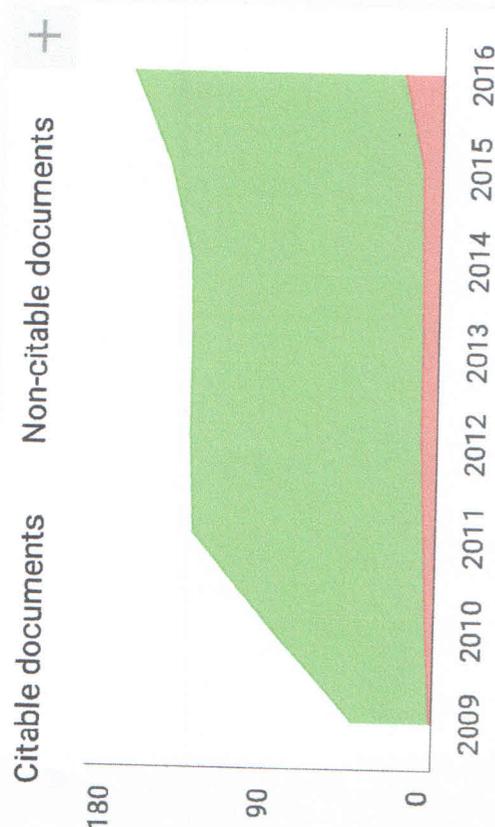
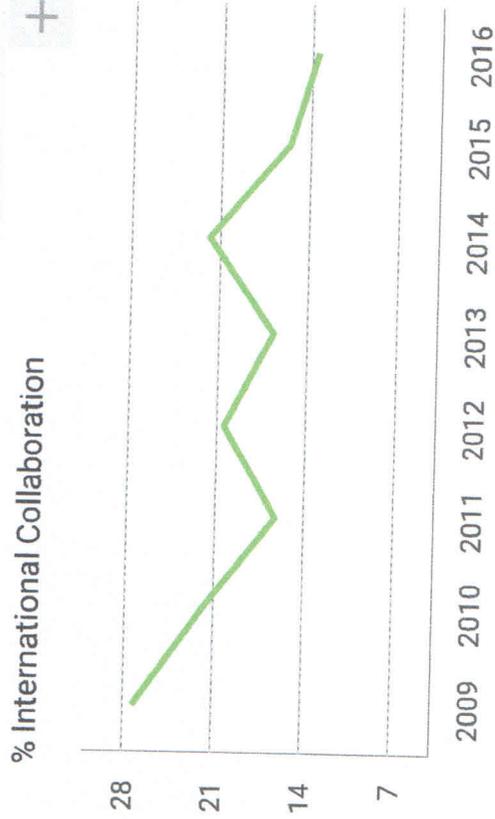
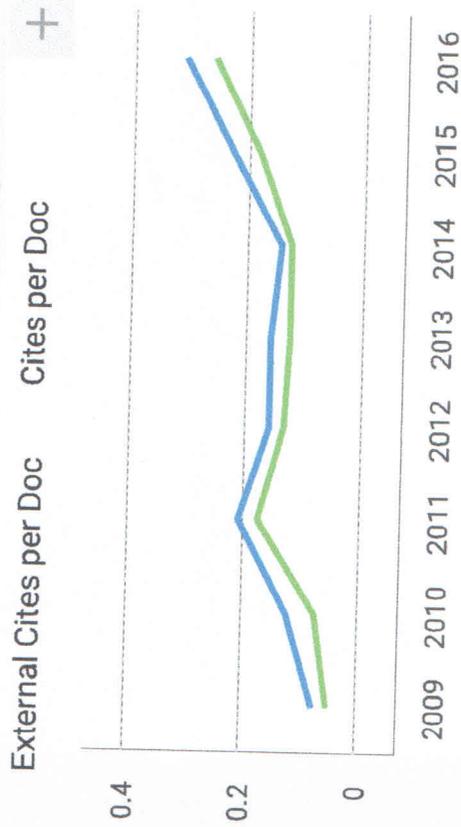
Coverage
2008-ongoing

Scope
Ingeniare. Revista chilena de ingeniería is published periodically, is printed in three issues per volume annually, publishing original articles by professional and academic authors belonging to public or private organisations, from Chile and the rest of the world, with the purpose of disseminating their experiences in engineering science and technology in the areas of Electronics, Electricity, Computing and Information Sciences, Mechanical, Acoustic, Industrial and Engineering Teaching. The abbreviated title of the journal is Ingeniare. Rev. chil. ing. , which should be used in bibliographies, footnotes and bibliographical references and strips. ([source](#))

Quartiles

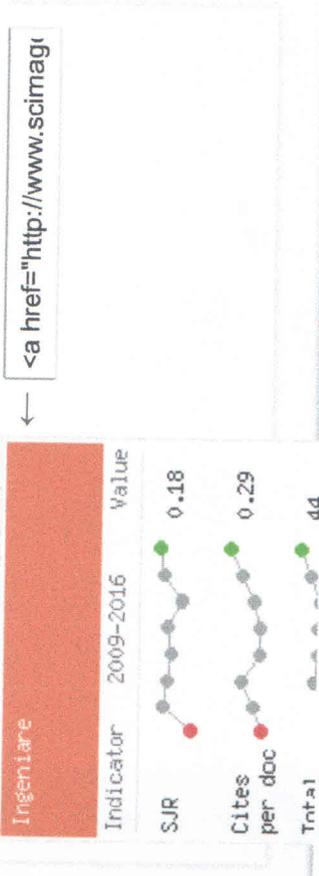
+





Show this widget in your own website

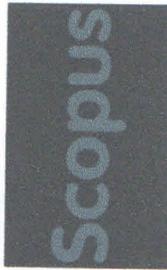
Just copy the code below and paste within your html code:



Developed by:



Powered by:



Follow us on Twitter

Scimago Lab, Copyright 2007-2017. Data Source: Scopus®



Estudio de rugosidad por análisis de Fourier de las toberas de inyectores en sistemas riel común (CRDI)

Roughness study by Fourier analysis of the injectors nozzles in systems common rail (CRDI)

Luis Mena Navarrete¹
Norma Barreno⁴

Marcelo Román²
Stalin Mena Palacio⁵

Edilberto Antonio Llanes Cedeño³
Juan Carlos Rocha-Hoyos⁶

Recibido 26 de abril de 2017, aceptado 6 de noviembre de 2017
Received: April 26, 2017 Accepted: November 6, 2017

RESUMEN

El desgaste en los sistemas de inyección a diésel es una de las averías que inciden directamente en la eficiencia del consumo de los Motores de Combustión Interna (MCI). Los sistemas de inyección de Riel Común (*common-rail* CRDI) son en la actualidad los más empleados, uno de los elementos principales es la aguja del inyector. El presente trabajo tiene como objetivo evaluar el desgaste superficial del cono y vástago de la aguja de la tobera del inyector de la marca Bosch de los sistemas CRDI, mediante la Transformada Rápida de Fourier (TRF), para filtrar el ruido introducido por el rugosímetro portátil SHBLST241 garantizándose las mediciones de rugosidades. La metodología utilizada es de tipo experimental, se toman valores en función de sus alturas y profundidades; y la distancia media entre los picos locales del perfil validándose de forma analítica, se aplica un análisis descriptivo para verificar la normalidad de las observaciones y posteriormente se considera la Transformada Rápida de Fourier para la investigación del ruido, el mismo que será caracterizado por el tipo de distribución o función de densidad probabilística de las amplitudes presentes. En la experimentación se consideró elementos nuevos que sirvieron como referencia para el análisis de las piezas usadas. Se elaboró una interfaz gráfica en Matlab para el estudio de Fourier. Los resultados obtenidos muestran porcentajes bajos de diferencias entre los datos obtenidos por el rugosímetro y el cálculo analítico de Ra, siendo en el cono de 0.07 % para el nuevo y 0.35 % para el usado, en el vástago 3.1 % para el nuevo y 0 % para el usado; se concluye que el procesamiento mediante la TRF disminuye el ruido en la adquisición de datos.

Palabras clave: riel común, desgaste superficial, rugosidad, Transformada Rápida de Fourier

ABSTRACT

Wear in diesel injection systems is one of the problems that directly affect the efficiency of the consumption of Internal Combustion Engines (ICE). Common rail systems (CRDI) are currently the

¹ Departamento de Energía y Mecánica. Universidad de las Fuerzas Armadas. Av. General Rumiñahui S/N y Paseo Escénico Santa Clara Código Postal: 1715231b. Sangolquí Ecuador. E-mail: lamena@espe.edu.ec

² Departamento de Ciencias Exactas. Universidad de las Fuerzas Armadas. Av. General Rumiñahui S/N y Paseo Escénico Santa Clara Código Postal: 1715231b. Sangolquí Ecuador. E-mail: wmroman@espe.edu.ec

³ Facultad de Arquitectura e Ingeniería. Universidad Internacional SEK. Quinta Transversal y Alberto Einstein Código Postal: 170134. Quito Ecuador. E-mail: antonio.llanes@uisek.edu.ec

⁴ Departamento de Ciencias Exactas. Universidad de las Fuerzas Armadas. Av. General Rumiñahui S/N y Paseo Escénico Santa Clara Código Postal: 1715231b. Sangolquí Ecuador. E-mail: npbarreno@espe.edu.ec

⁵ Departamento de Energía y Mecánica. Universidad de las Fuerzas Armadas. Av. General Rumiñahui S/N y Paseo Escénico Santa Clara Código Postal: 1715231b. Sangolquí Ecuador. E-mail: jsmena@espe.edu.ec

⁶ Facultad de Arquitectura e Ingeniería. Universidad Internacional SEK. Quinta Transversal y Alberto Einstein Código Postal: 170134. Quito Ecuador. E-mail: carlos.rocha@uisek.edu.ec

* Autor de correspondencia

most used, one of the main elements is the injector needle. The objective of the present work is to evaluate the superficial wear of the cone and needle stem of the Bosch nozzle of the CRDI systems using the Fast Fourier Transform to filter the noise introduced by the portable rugosimeter SHBLST241, ensuring Roughness measurements. The methodology used is of experimental type, values are taken according to their heights and depths; And the average distance between the local peaks of the profile being validated analytically, a descriptive analysis is applied to verify the normality of the observations and later the Fast Fourier Transform is considered for the investigation of the noise, the same that will be characterized by the type of distribution or function of probabilistic density of the present amplitudes. In the experimentation elements new were considered that served as reference for the analysis of the pieces used. A graphical interface was developed in Matlab for the Fourier study. The results obtained show low percentages of differences between the data obtained by the rugosimeter and the analytical calculation of Ra, in the cone of 0.07 % for the new and 0.35 % for the used, in the stem 3.1 % for the new one and 0 % for the used; It is concluded that the through FFT processing reduces the noise in the data acquisition.

Keywords: common rail, surface wear, roughness, Fast Fourier Transform

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas que experimentan los vehículos con CRDI, son las averías en el sistema de alimentación (pérdida de potencia, alto consumo de combustible, exceso de humos negros, etc.), causados por el desgaste o daños en las superficies de la aguja del inyector, originados por depósitos orgánicos e inorgánico, y procesos de cavitación [1-2].

El principal causante del desgaste en las agujas es la alta presión a la que funcionan los inyectores (15 a 200 MPa) [3], así como las altas temperaturas a la que están sometidas (superior a 500 °C); además, la norma INEN 1489 permite hasta el 0.05 % de azufre en la composición del diésel, este porcentaje es suficiente para que se acelere el desgaste en estas zonas de los inyectores [3-4-5].

Para tratar este problema, se utiliza el instrumento denominado rugosímetro, donde el problema derivado de sus mediciones se centra en la generación de ruidos en la señal proporcionada, estos ruidos pueden ser provocados por la inadecuada manipulación del técnico, mal alineamiento del equipo y la pieza mecánica, presencia de polvo, campos electromagnéticos, entre otros; estos inconvenientes introducen errores en el diagnóstico de los elementos objeto de análisis.

La presente investigación tiene como objetivo: evaluar el desgaste superficial del cono y vástago

de la aguja de la tobera del inyector de la marca Bosch de los sistemas CRDI, mediante la Transformada Rápida de Fourier, para filtrar el ruido introducido por el rugosímetro portátil SHBLST241 garantizándose las mediciones de rugosidades.

ANÁLISIS TEÓRICO

Parámetros del rugosímetro

Los datos de rugosidad se han tomado con el rugosímetro portátil SHBLST241, el aparato de medición que se ocupará en esta investigación es del tipo palpador capacitivo, es decir, que el sensor posee un movimiento paralelo a la superficie de medición, va modificando la capacidad del condensador (señal eléctrica) según los valles y picos que se vayan presentando en la medición, como se presenta en la figura 1.

Además, entre sus características posee un software denominado Presurf Enterprise, el cual interactúa con la PC, vía cable USB o por medio de bluetooth; es una herramienta fundamental en el uso del computador, ya que por ese medio se obtiene acercamientos más amplios que en las gráficas de la pantalla del rugosímetro (1X, 5X, 20X y 50X), según calibración ISO 17025, su rango de parametrización es Ra (0.005 μm . ~ 16 μm .), Rz (0.02 μm . ~ 160 μm .) [6-7].

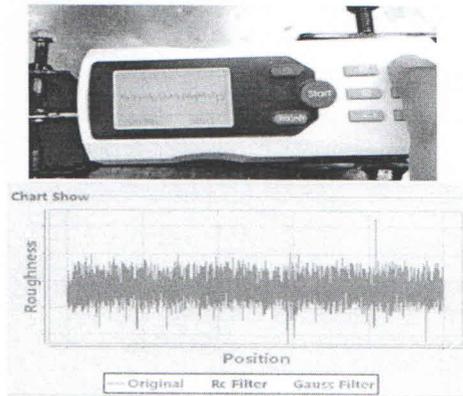


Figura 1. Conexión del rugosímetro al PC [5].

Mediciones de rugosidad

Las agujas de inyección de las toberas de los inyectores, reciben la presión máxima en la alimentación del combustible en los sistemas CRDI de hasta 200 MPa, y con temperaturas máximas que alcanzan hasta los 600 °C, esto afecta principalmente en dos zonas de las agujas como el cono y el vástago; es por ello que estos sectores son los llamados a ser investigados desde un punto de vista del desgaste [8].

Se emplea un pedestal en el cual se sostienen las toberas nuevas y usadas, para que el sensor palpador del rugosímetro realice el movimiento y tome la medición de la rugosidad.

Las mediciones se realizan en dos zonas críticas de desgaste, como es el cono de la aguja y su vástago, tanto a iguales condiciones iniciales y a similares condiciones de uso. Se realiza un desarme del inyector y se realizan las mediciones como se puede observar en las figuras 2 y 3.

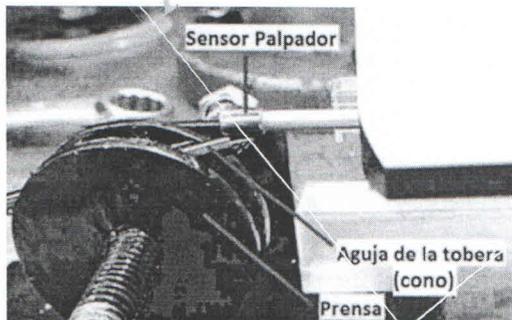


Figura 2. Medición del cono de la aguja (Bosch).

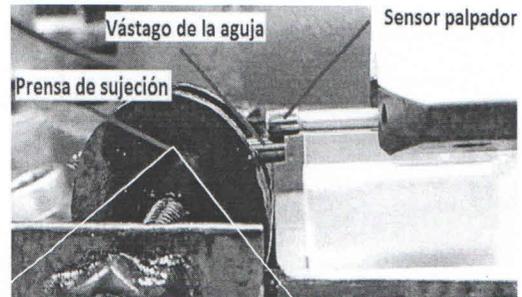


Figura 3. Medición del vástago de la aguja (Bosch)

Cálculos de rugosidad

La rugosidad está formada por surcos o marcas dejadas por los agentes que atacan la superficie en el proceso de mecanizado, los parámetros de medición de rugosidad se plantea según en la línea media "M". Entonces es conveniente realizar cálculos de rugosidad para corroborar las mediciones tomadas; para este caso se determina el parámetro de rugosidad media aritmética (R_a) y la rugosidad media (R_z) [9].

R_a , media aritmética de los valores absolutos de los alejamientos del perfil desde la línea central, dado por la ecuación 1 y 2:

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (1)$$

$$R_a = \frac{1}{L_m} \int_0^{L_m} |y| dx \quad (2)$$

Donde: n es el número de ordenadas consideradas; $|y_i|$ es la ordenada de la señal; L_m es longitud de medición.

R_z , según la norma ISO lo define como la diferencia entre los promedios de los cinco picos más altos y los valles más profundos dentro de la longitud de evaluación [10], medida en la dirección de la amplificación vertical dentro de la longitud (L_m) de evaluación, dado por la ecuación 3:

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 y_{pi} - \sum_{i=1}^5 y_{vi}}{5} \quad (3)$$

Donde:
 y_{pi} – Picos más altos,

y_{vi} – Profundidades más notables.

Normalidad de la rugosidad de la aguja del inyector

El análisis de normalidad permite determinar si una serie de datos sigue una función normal o no, lo cual define la aplicación de la estadística paramétrica o no paramétrica; para ello se realizan pruebas como la de Kolmogorov-Smirnov, además, permite evidenciar la presencia de valores críticos en la lectura de datos, los mismos que se podrían aducirse a la presencia de ruido en la adquisición de la señal o lectura de datos.

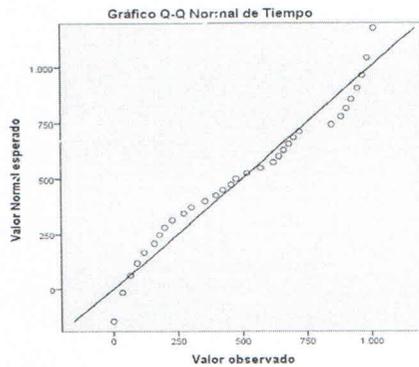


Figura 4. Análisis de normalidad del tiempo de muestreo

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

		Tiempo
N		32
Parámetros normales ^{a,b}	Media	511,78
	Desviación típica	321,506
Diferencias máximas extremas	Absoluta	,101
	Positiva	,092
	Negativa	-,101
Z de Kolmogorov-Smirnov		,574
Sig. asintót. (bilateral)		,897

a. La distribución de contraste es la Normal.
 b. Se han calculado a partir de los datos.

Figura 5. Prueba de normalidad del tiempo en la lectura de datos.

En las figuras 4 y 5 de normalidad Q-Q se ejemplifica, para analizar la diferencia entre la distribución de probabilidad de la muestra extraída y la distribución utilizada para la comparación. Se verifica que la prueba de Kolmogorov-Smirnov para el análisis del tiempo con respecto a la lectura de los datos, el valor de p (Sig. Asintót) es de 0.897 superior al 0.05, entonces para este caso se acepta

la hipótesis nula que consiste en que la toma de los valores siguen una distribución normal [11-12-13-14].

Transformada rápida de Fourier

La expansión en Serie de Fourier en su forma compleja para una señal continua está dada por la ecuación 4 [15-16]:

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n e^{jn\omega_0 t} \tag{4}$$

Con la base de las ecuaciones 5 y 6:

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} \tag{5}$$

$$C_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) e^{-jn\omega_0 t} dt \tag{6}$$

Donde la explicación de sus variables es la siguiente:

$f(t)$ – Representa el modelamiento de la señal obtenida del rugosímetro

ω_0 – Frecuencia angular inicial de la señal

n – Número de elementos de la expansión

T – Periodo de la señal

C_n – Coeficiente de la serie de Fourier en su forma compleja

π – Pi

t – tiempo

j - coordenada

La modelación de la señal es evaluada en términos de los datos proporcionados por el rugosímetro, para aplicar el análisis de la Transformada Rápida de Fourier a la señal adquirida por el rugosímetro, donde se determina el análisis de la rugosidad en términos del valor de sus ordenadas y_i . Además, se aplica las condiciones de Dirichlet para la convergencia de la expansión en serie de Fourier de la función, siendo ésta una función continua, y así converger la señal [17].

Para el análisis del ruido se aplica la Transformada Rápida de Fourier, que mediante la implementación de una interfaz gráfica se presenta el análisis para los picos más altos y los valles más

profundos dentro de la longitud de evaluación, ya que se considera el ruido Gaussiano [18].

RESULTADOS

Análisis de la rugosidad

La rugosidad está formada por surcos o marcas dejadas por los agentes que atacan la superficie de la tobera del inyector donde se puede obtener a Ra (rugosidad media aritmética), Rq (rugosidad media cuadrática), Rt (profundidad total de la rugosidad), Rz (rugosidad media), Rp (cresta mayor del perfil), Rv (valle más profundo), Rm (rugosidad máxima), todos estos parámetros visualizados desde la figura 6 a la figura 9 para su respectivo análisis [9].

Cálculo del parámetro Ra (Cono de la aguja nueva de la tobera del inyector marca Bosch)

En la Figura 6 se presenta la evaluación realizada por el rugosímetro en el cono de la aguja de tobera nueva. Según Groover, las válvulas giratorias de alta presión se establece con un valor de $Ra = 0.06 \mu\text{m}$ [19], y para este análisis se considera además una longitud de medición, $Lm = 1.2 \mu\text{m}$.

Ra.	Rq.	Rt.	Rz.	Rp.	Rv.	Rm.
0.066	0.089	0.596	0.913	0.308	0.282	0.288

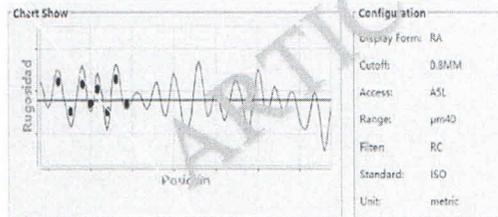


Figura 6. Rugosidad del cono de la aguja nueva de la tobera inyector marca BOSCH.

Donde y , es la función resultante del perfil:

$$|y| = -\frac{x^2 - 2.4x + 0.79}{2.6}$$

Entonces, el cálculo para Ra es:

$$Ra = \frac{1}{1.2} \int_0^{1.2} -\frac{x^2 - 2.4x + 0.79}{2.6} dx$$

Se obtiene un valor de $Ra = 0.0653 \mu\text{m}$, comparándose este valor con el evidenciado en la

pantalla del rugosímetro visto en la figura 6 para Ra , muestra un error del 0.07 %.

Cálculo del parámetro Ra (Cono de la aguja usada de la tobera del inyector marca Bosch)

En la Figura 7 se muestra la evaluación del rugosímetro en el cono de la aguja de tobera usada, además se considera una longitud de medición de $Lm = 1.2 \mu\text{m}$.

Ra.	Rq.	Rt.	Rz.	Rp.	Rv.	Rm.
0.071	0.095	0.856	1.419	0.349	0.327	0.507

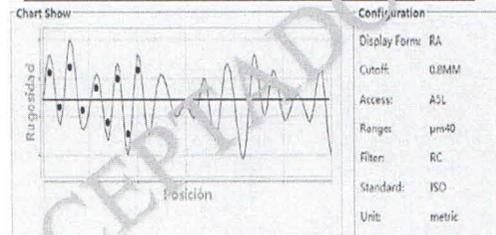


Figura 7. Rugosidad del cono de la aguja usada de la tobera inyector marca BOSCH

Reemplazo y que es la función del perfil del cono de la aguja de tobera usada en la ecuación 2, se tiene a Ra como:

$$Ra = \frac{1}{1.2} \int_0^{1.2} -\frac{x^2 - 1.9x + 0.471}{2.8} dx$$

Por tanto: $Ra = 0.0675 \mu\text{m}$, este valor se confronta con la pantalla del rugosímetro obteniéndose un error del 0.35 %.

Cálculo del parámetro Ra (Vástago de la aguja nueva de la tobera del inyector marca Bosch)

En la figura 8, se presenta la evaluación realizada por el rugosímetro en el vástago de la aguja de la tobera del inyector nueva. Según Groover, las superficies mecanizadas, ejes oscilan entre un valores de $Ra = 1$ y $2 \mu\text{m}$ [19], se considera una longitud de medición de $Lm = 1.2 \mu\text{m}$, para su análisis.

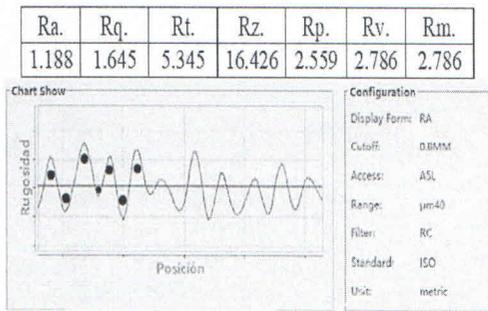


Figura 8. Rugosidad del vástago de la aguja de la tobera inyector nueva

El cálculo de R_a , se obtiene reemplazando y la función del perfil del vástago de la aguja de tobera nueva, en la ecuación 2:

$$Ra = \frac{1}{1.2} \int_0^{1.2} -\frac{x^2 - 3x + 0.3}{1.4} dx$$

Se obtiene un valor de: $R_a = 1.157 \mu\text{m}$, el mismo que se compara con la evidenciada en la pantalla del rugosímetro de la figura 8, presentándose un error del 3.1 %.

Cálculo del parámetro R_a (Vástago de la aguja usada de la tobera del inyector marca Bosch).

En la Figura 9 se muestra la evaluación por el rugosímetro en todos sus parámetros. Donde y es la función del perfil en el vástago de la aguja de la tobera del inyector usada:

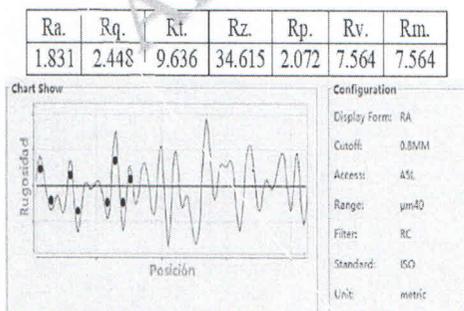


Figura 9. Rugosidad del vástago de la aguja de la tobera del inyector usada.

El cálculo de R_a :

$$Ra = \frac{1}{1.2} \int_0^{1.2} -\frac{x^2 - 6.21x + 0.5}{1.5} dx$$

Se obtuvo un valor de: $R_a = 1.831 \mu\text{m}$, El mismo que evaluado con el valor de la pantalla del rugosímetro, presenta un error del 0 %. El procedimiento asumido en el estudio permitió evaluar las variables de rugosidades, por GAO [17].

Análisis de normalidad de la rugosidad del cono de la aguja usada del inyector

La prueba de Kolmogorov-Smirnov para el análisis del parámetro R_a determina el valor de p (Sig. Asintót) es de 0.018 inferior al 0.05, entonces se rechaza la hipótesis nula que consiste en que la toma de los valores sigue una distribución normal. Esto visto en la figura 10 y 11, bajo el criterio de normalidad.

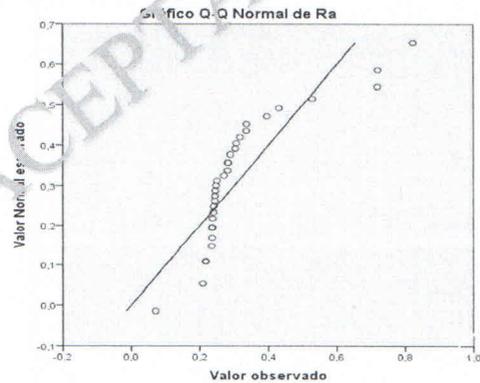


Figura 10. Normalidad del parámetro R_a .

		Ra
N		32
Parámetros normales ^{a,b}	Media	.31967038
	Desviación típica	.161791714
Diferencias más extremas	Absoluta	.271
	Positiva	.271
	Negativa	-.215
Z de Kolmogorov-Smirnov		1.533
Sig. asintót. (bilateral)		.018

a. La distribución de contraste es la Normal.
b. Se han calculado a partir de los datos.

Figura 11. Prueba de normalidad del parámetro R_a

La prueba de Kolmogorov-Smirnov para el análisis del parámetro R_z determina el valor de p (Sig. Asintót) es de 0.028 inferior al 0.05, entonces los valores observados no están sobre la recta esperada bajo el supuesto de normalidad de los datos obtenidos por el rugosímetro. Esto se muestra en la figura 12 y 13, bajo el criterio de normalidad. No

responde a una distribución normal lo cual fundamenta otra distribución que puede ser exponencial, Poisson, entre otras.

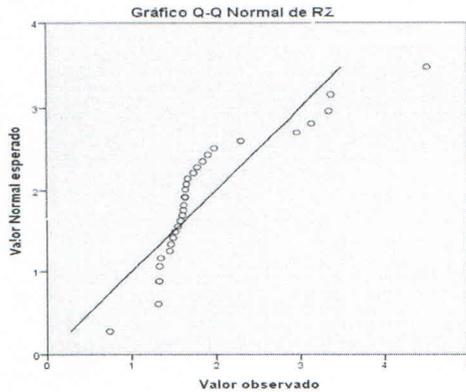


Figura 12. Normalidad del parámetro R_z .

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

		R_z
N		31
Parámetros normales ^{a, b}	Media	1,88276066
	Desviación típica	,782805209
Diferencias más extremas	Absoluta	,262
	Positiva	,262
	Negativa	-,202
Z de Kolmogorov-Smirnov		1,460
Sig. asintót. (bilateral)		,028

a. La distribución de contraste es la Normal.
b. Se han calculado a partir de los datos.

Figura 13. Prueba de normalidad del parámetro R_z .

Análisis de transformada rápida de fourier en el cono de la aguja usada del inyector

Se considera los datos obtenidos por el rugosímetro como una sucesión de números, los mismos que son considerados como una combinación lineal en términos de funciones trigonométricas o exponenciales, es decir; se obtiene una expansión

en serie de Fourier de los elementos de la sucesión donde sus coeficientes proporcionan la amplitud de las funciones sinusoidales, basados en la convergencia absoluta uniforme de la serie, de forma análoga al trabajo realizado por SCHMITT [18].

Expansión en Serie de Fourier aplicada

$$f(x) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos\left(\frac{n\pi}{p}x\right) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin\left(\frac{n\pi}{p}x\right)$$

$$a_0 = \frac{1}{1.2} \int_0^{1.2} -\frac{x^2 - 1.9x + 0.471}{2.8} dx$$

$$a_k = \frac{1}{1.2} \int_0^{1.2} -\frac{x^2 - 1.9x + 0.471}{2.8} \cos\left(\frac{n\pi}{1.2}x\right) dx$$

$$b_k = \frac{1}{1.2} \int_0^{1.2} -\frac{x^2 - 1.9x + 0.471}{2.8} \sin\left(\frac{n\pi}{1.2}x\right) dx$$

En la figura 14, se representa el análisis de convergencia de los coeficientes a_k y b_k de la expansión en Serie de Fourier en su forma trigonométrica, de lo cual se puede evidenciar su convergencia al valor de cero.

La modelación de la señal es a partir de sus ordenadas y_i , además, se considera la longitud del estudio de la señal, que se presenta en la figura 15, donde se muestra la señal original y la expansión en serie de Transformada Rápida de Fourier, que se plantea mediante la elaboración de una interfaz gráfica que representa el análisis para los picos más altos y los valles más profundos dentro de la longitud de evaluación, ya que se considera para su análisis el ruido Gaussiano, que se muestra en la figura 16. También, se observa que la generación del ruido en el análisis de la superficie de la pieza mecánica es filtrada para tener una mejor lectura de la señal.

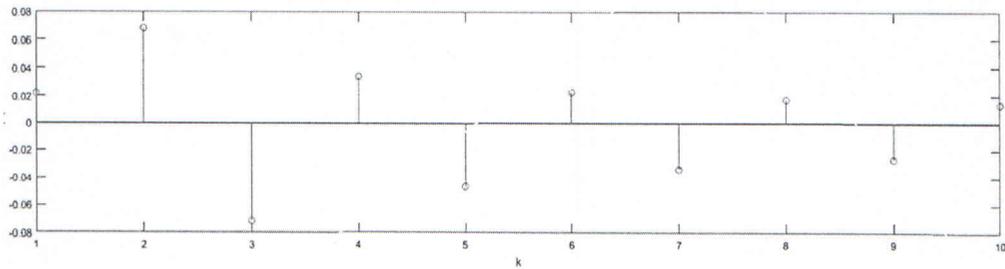


Figura 14. Análisis de Fourier a las ordenadas de la señal.

En la Figura 15 se representa la modelación matemática de la señal original mostrada de forma continua y el análisis de Fourier implementado a los datos obtenidos por parte del rugosímetro (mostrado de forma *ordenada*), pudiendo evidenciar una convergencia de la serie de Fourier al modelo formulado; la representación gráfica en los extremos obedece al fenómeno Gibbs.

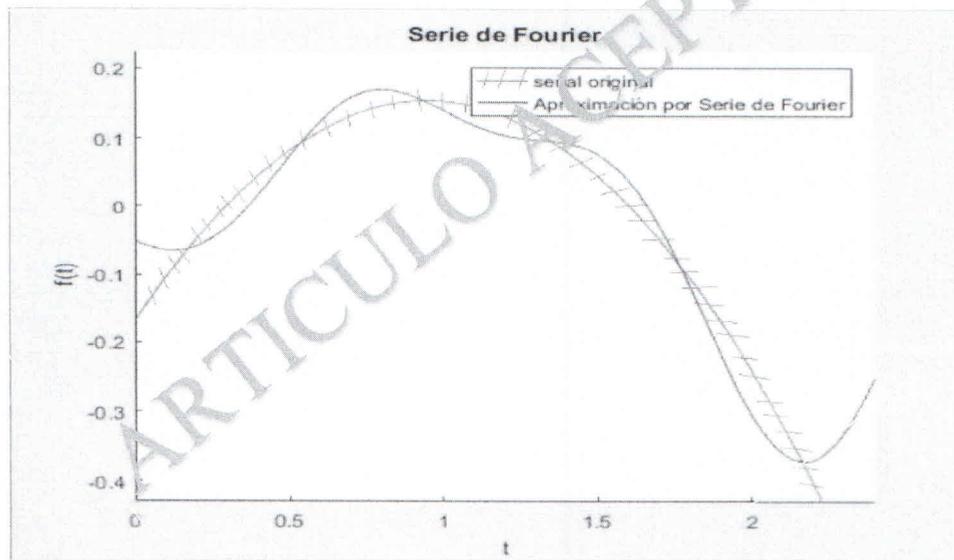


Figura 15. Aproximación de la señal por Serie de Fourier.

Se presenta en la Figura 16, el dominio temporal y dominio frecuencial, se tiene la representación en dominio de tiempo y dominio de frecuencia de los datos obtenidos mediante el rugosímetro; en las gráficas de dominio temporal (tratado) y mundo frecuencial (tratado) se tiene la representación del tratamiento de los datos mediante el análisis de

Fourier aplicando filtro de tratamiento, donde el resultado del tratamiento de la señal en dominio de tiempo (señal filtrada) que es de 0.3398, el mismo que se puede evidencia en la figura. En tanto que en dominio de frecuencia la señal filtrada converge hacia cero.

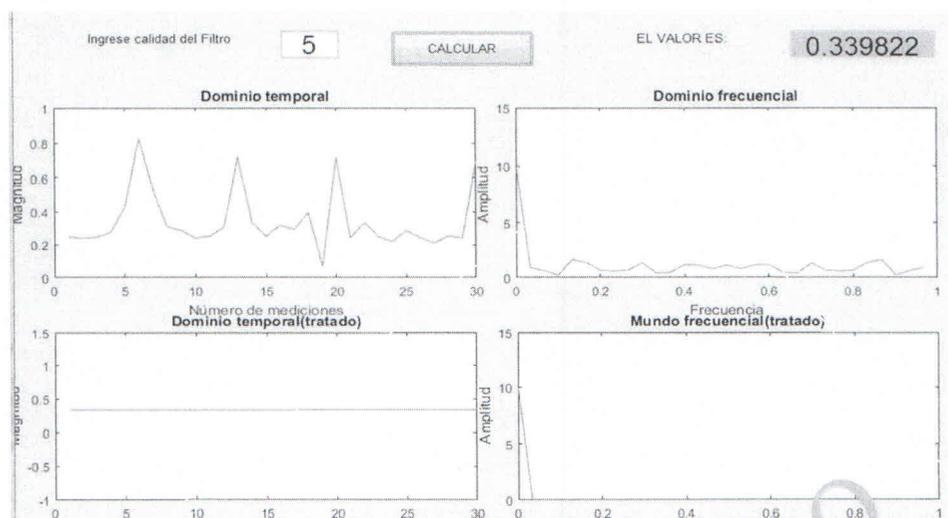


Figura 16. Análisis del ruido en la señal

Evaluación de las metodologías aplicadas en la tobera del inyector

La Tabla 1 muestra el análisis comparativo de la rugosidad de la tobera del inyector Bosch, obtenida por el rugosímetro y por el modelo matemático, existiendo un error bajo entre ambas, posibilitando la validación de los datos obtenidos.

Tabla 1. Aproximación de los datos del rugosímetro y modelo matemático.

Parte de la tobera	Característica	Análisis de comparación entre los datos del rugosímetro SHBLST241 y el modelo matemático (%)
Ra, cono	Nuevo	0.07
	Usado	0.35
Ra, vástago	Nuevo	3.1
	Usado	0

Aplicación de la transformada rápida de Fourier

Debido a las distancias irregulares entre los picos, la forma irregular en los picos, la presencia de componentes de baja frecuencia en la señal; se eliminaron las frecuencias bajas por medio de FFT (*Fast-Fourier-Transform*) en una primera etapa.

En la segunda etapa, se usa un filtro pasa banda, el cual localiza los máximos significativos en la señal.

En la etapa final, se eliminan los datos más alejados del promedio. Este proceso permite la detección de los picos y

Se implementa una expansión en Serie de Fourier a la función implementada para analizar su convergencia hacia la función, posteriormente a los datos entregado por el rugosímetro se aplica el estudio de la serie discreta de Fourier implementado un filtro paso-bajo para la eliminación o atenuación de las altas frecuencias de la lectura de los datos, coincidiendo con los resultados obtenidos por TIEN [15].

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el estudio de la rugosidad del cono y vástago de la aguja del inyector Bosch de los sistemas CRDI nuevo y usados, por medio del rugosímetro y cálculo analítico arrojan valores similares con bajo porcentaje de diferencia, permitiendo de este modo validar los datos obtenidos.

El análisis de normalidad de los datos obtenidos de rugosidad en la aguja del inyector para el parámetro Ra y Rz, mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, muestran que dichos valores no siguen una distribución normal por ser el valor p (Sig. Asintót) inferior al 0.05, motivado por el ruido introducido por el rugosímetro. Para tratar este inconveniente se implementa la

Transformada Rápida de Fourier que en su algoritmo tiene implementados filtros para los datos anómalos.

El Algoritmo de la Transformada Rápida de Fourier permite obtener una función en el dominio de frecuencia a partir de otra función que está en dominio del tiempo, la misma, aplicada a la función del cálculo de la rugosidad, es un método que permite mejorar la precisión en los datos obtenidos al disminuir los ruidos producidos por el rugosímetro.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer al Laboratorio de Motores de Combustión de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga - Ecuador por permitir la utilización del rugosímetro portátil SHBLST241.

REFERENCIAS

- [1] C. Trobaugh, et al. "Internal Diesel Injector Deposits: Theory and Investigations into Organic and Inorganic Based Deposits". SAE International Journal of Fuels and Lubricants. Vol. 6 N° 2013-01-2670, pp. 772-784. 2013.
- [2] H.E. Zhixia, et al. "Experimental and numerical study of cavitation inception phenomenon in diesel injector nozzles". International Communications in Heat and Mass Transfer. Vol. 65, pp. 117-124. 2015.
- [3] B.T. Martínez. "Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado". Reverté. 2005.
- [4] M. Zheng, T. Li y X. Han. "Direct injection of neat n-butanol for enabling clean low temperature combustion in a modern diesel engine". Fuel. Vol. 142, p. 28-37. 2015.
- [5] INEN. Norma Técnica Ecuatoriana. Productos derivados del petróleo. Diesel. Requisitos. Instituto Ecuatoriano de Normatización. NTE INEN. Vol. 1489. 2001.
- [6] J.E. Márquez y J.E. Briceño. "Principios de las Comunicaciones". Mérida, Venezuela: ULA Ingeniería. 2005.
- [7] Digital measurement metrology Inc., Process Instruments, pp. 1. 28/03/2017. 31/03/2017. URL: <http://www.processinstruments.ca/store/surface-gauges-and-testers/portable-surface-roughness-tester.htm>
- [8] Z. Zhimin, et al. "Influences of various cutting parameters on the surface roughness during turnings stainless steel". Acoustical Physics. Vol. 57 N° 1, pp. 114-120. 2011.
- [9] L.R. Hilbert, et al. "Influence of surface roughness of stainless steel on microbial adhesion and corrosion resistance". International Biodegradation & Biodegradation. Vol. 52 N° 3, pp. 175-185. 2003.
- [10] ISO, E. N° 1302. Geometrical Product Specifications, 2002. URL: http://www.edu.xunta.gal/centros/cfrcoruna/anla/virtual2/file.php/186/Calidad_Superficial.pdf
- [11] M. Bethencourt, et al. "Aplicación del análisis de Fourier al estudio de perfiles de rugosidad de muestras erosionadas". Revista de Metalurgia. Vol. 34 Número Extra, pp. 7-11. 1998.
- [12] J.C. Alonso, S. Montenegro. "Estudio de Monte Carlo para comparar 8 pruebas de normalidad sobre residuos de mínimos cuadrados ordinarios en presencia de procesos autorregresivos de primer orden". Estudios Gerenciales. Vol. 31 N° 136, pp. 253-265. 2015.
- [13] N.M. Razali, et al. "Power comparisons of shapiro-wilk, kolmogorov-smirnov, lilliefors and anderson-darling tests". Journal of statistical modeling and analytics. Vol. 2 N° 1, pp. 21-33. 2011.
- [14] A. Justel, D. Peña, R. Zamar. "A multivariate Kolmogorov-Smirnov test of goodness of fit". Statistics & Probability Letters. Vol. 35 N° 3, pp. 251-259. 1997.
- [15] Chuen-Lin Tien, Huei-Min Yang, Ming-Chung Liu. "The measurement of surface roughness of optical thin films based on fast Fourier transform". Thin Solid Films. Vol. 517 N° 17, pp. 5110-5115. 2009.
- [16] D.C. Montgomery. "Design and analysis of experiments". John Wiley & Sons. 2017.
- [17] Y. Gao, et al. "Experimental study of the effects of surface roughness on the vortex-

- induced vibration response of a flexible cylinder”. *Ocean Engineering*. Vol. 103, pp. 40-54. 2015.
- [18] E. Schmitt, P. Idowu, A. Morales. “Applications of wavelets in induction machine fault detection/aplicaciones de wavelets en la detección de fallas de máquinas de inducción”. *Ingeniare: Revista Chilena de Ingeniería*. Vol. 18 N° 2, pp. 158. 2010.
- [19] M.P. Groover. “Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas”. Pearson Educación. 1997.

ARTICULO ACEPTADO